

Registro y análisis de temperaturas: productos IV gama del campo a la mesa

M. Gómez Arranz¹, B. Diezma¹, E.C. Correa¹, A. Hinojosa², P. Barreiro¹ y V. Escalona²

¹ Grupo de Investigación LPF_TAGRALIA. Universidad Politécnica de Madrid. España. E-mail: belen.diezma@upm.es

² Centro de Estudios Postcosecha (CEPOC). Grupo de Investigación. Facultad de Ciencias Agronómicas. Universidad de Chile. Santiago. Chile. E-mail: vescalona@uchile.cl

Resumen

Las hortalizas mínimamente procesadas (MP) son productos frescos, higienizados, que sufren alteraciones físicas durante el proceso de elaboración que afectan a su metabolismo, determinando incrementos en la tasa respiratoria y producción de etileno. Los daños que se originan por las operaciones físicas, vuelven a estos productos más susceptibles a la colonización de microorganismos, inducen procesos de cicatrización de heridas y afectan su calidad organoléptica y funcional. Por ello en estos productos es especialmente crítico el aseguramiento de las condiciones de refrigeración desde el productor hasta el consumidor.

En este estudio se presenta el análisis de las temperaturas registradas en Santiago (Chile) durante la cadena de producción y distribución de lechugas baby leaf MP tipo Salanova®, monitorizadas mediante sensores de temperatura y humedad relativa (I-Buttons®) y tarjetas RFID con sensor de temperatura (TurboTag®), colocados en el interior de las bolsas de lechuga y en el exterior de las cajas de agrupación.

El objetivo del presente trabajo es generar información sobre el historial térmico de estos productos desde la huerta a la nevera del consumidor, así como optimizar los protocolos de colocación de dispositivos y sistematizar procedimientos de análisis de datos espacio-temporales. Con los datos registrados, se simuló la cadena de producción, distribución y venta, realizando un seguimiento de la calidad comercial del producto, evaluándose la tasa respiratoria y las características sensoriales sin degustación. Se observó que no solo se producen saltos térmicos discretos, sino que las lechugas estuvieron durante gran parte de su vida útil en condiciones subóptimas de temperatura, comprometiéndose su calidad sensorial.

Palabras clave: Transporte refrigerado, cadena de frío, monitorización, series espacio-temporales, hortalizas de hoja

Recording and analysis of temperatures: Fresh-cut vegetables from field to table

Abstract

Fresh-cut vegetables can be defined as any fresh vegetable that has been physically modified from its original state; processing of vegetables affects its metabolism, causing higher respiratory rates and increasing the production of ethylene. Consequently fresh-cut products are more susceptible to microbial degradation and the loss of organoleptic and functional quality. Therefore in these products is especially critical assurance cooling conditions from the producer to the consumer.

In this study, temperatures of minimally processed lettuce, baby leaf variety Salanova, were monitored by sensors of temperature and relative humidity (I-Buttons®) and RFID cards equipped with temperature sensor (TurboTag®) from field to consumer. The sensors were located inside the bags of product and on the boxes of bags.

The aim of this work is to generate information about the temperature conditions of the products from the farm to the consumer, and optimize protocols for the distribution of sensors and define procedures for the complex analysis of spatial-temporal data. With the recorded data, the cold chain was simulated and the evolution of

sensorial characteristics (without taste) were evaluated. It was observed that not only discrete temperature changes occur, but also the products are far of their optimal conditions during prolonged periods of time, committing sensory quality of the product.

Keywords: refrigerated transport, cold chain, monitoring, spatial – time series, leaf vegetables

Introducción y/o Justificación

Es bien sabido que la calidad de los productos hortofrutícolas cambia rápidamente cuando los se someten a temperaturas y/o humedades relativas inadecuadas durante su procesado, transporte y/o almacenamiento. Lo que es especialmente cierto en los productos de IV gama, en los que su propio procesado incide en su deterioro (pardeamientos, afectación de microorganismos, deterioro de su calidad organoléptica). Varios estudios han demostrado niveles significativos de heterogeneidad en los valores de temperatura y humedad registrados en diferentes localizaciones de recintos refrigerados como consecuencia de la falta de uniformidad del flujo de aire generado por el equipo de frío, lo que conduce a acentuar el deterioro de la calidad y la pérdida de seguridad de los alimentos (Jiménez-Ariza *et al.*, 2014). Las temperaturas inadecuadas de almacenamiento es el segundo factor causante de enfermedades transmitidas por los alimentos, siendo el primero la microflora inicialmente presente en los alimentos (Laguerre *et al.*, 2013; Rodríguez-Bermejo *et al.*, 2007). El transporte y la logística tienen un papel significativo en el proceso, por lo que su supervisión, control y modelización para evaluar / simular y estimar el estado de la calidad con la que las cargas llegan a su destino tiene un claro interés práctico.

Los rápidos avances en sensores y comunicaciones inalámbricas ponen a nuestra disposición dispositivos de bajo coste y autónomos, desde el punto de vista de la fuente de alimentación y memoria, adecuados para la supervisión de procesos y almacenamientos. Estos dispositivos permiten crear redes de alta frecuencia de adquisición de datos en tiempo real, que hacen factible reconstruir la distribución temporal y espacial de variables tales como la temperatura (García *et al.*, 2007).

En este trabajo se persigue determinar la viabilidad de realizar una monitorización completa en condiciones reales del producto desde el cultivo al consumidor, mediante registradores de temperatura baratos, robustos, con una respuesta dinámica adecuada y autónomos desde el punto de vista de energía y registro de datos. Se plantea también simular un historial térmico patrón (a partir de los datos reales) con el fin de comprobar la incidencia de las desviaciones con respecto a las temperaturas óptimas, en la evolución del producto respecto a la tasa respiratoria y a su calidad sensorial.

Material y Métodos

En este trabajo el material vegetal utilizado procedía de la empresa chilena OASIS, productora y comercializadora de hortalizas IV gama tipo gourmet y situada en la localidad de Lampa, al norte de Santiago. Se ha trabajado con lechugas *baby leaf* tipo *Salanova*® producidas en invernadero. Se realizó una monitorización continua de las condiciones de temperatura de las lechugas desde el invernadero hasta el final de su vida útil en la nevera del consumidor.

La red de sensores implementada estaba conformada por dos tipos de registradores:

- a) tarjetas tipo RFID (identificadores por radio frecuencia) TurboTag 702B (Sealed Air, TurboTag, 702B, New Jersey, EEUU), que incorporan un sensor de temperatura con un rango de operación comprendido entre -55°C y 60°C y una precisión de $\pm 0,5$ °C, y una capacidad de almacenamiento de 702 datos. La configuración de la tarjeta y la descarga de los datos al PC se realiza mediante el dispositivo RFID DR-1 con una interfaz de descarga a 13,56 MHz y al programa TurboTag Sessions Manager. El programa permite configurar el inicio de toma de datos, el intervalo entre datos, los límites superior e inferior de temperatura y la visualización del historial de temperatura.
- b) dispositivos Hygochron™ i-button, que incorporan sensores de temperatura y humedad relativa, tienen un diámetro de 16 milímetros, aproximadamente el tamaño de una pila de reloj. Poseen un sensor de temperatura con un rango de medición de -20°C a 85°C con una precisión de $\pm 0,5$ °C y

un sensor de humedad relativa con un rango de medición de 0 a 100% con una precisión de $\pm 5\%$. La configuración del sensor y la descarga de datos al PC se realiza mediante un dispositivo receptor Blue Dot™, la transmisión se realiza a 125 kbps utilizando un conector RJ45-1 con adaptador USB y al programa OneWireViewer. El programa permite configurar el inicio de toma de datos, el intervalo entre datos y la visualización del historial de temperatura y humedad relativa.

Durante los primeros días del mes de diciembre de 2014, se colocaron 15 tarjetas TurboTag® en el interior del invernadero, suspendidas a 40 cm del suelo y 9 sensores i-button en el interior de 9 lechugas dos días antes de ser cortadas (aproximadamente 45 horas); estas lechugas fueron marcadas para facilitar su identificación y seguimiento. Las lechugas, recolectadas de forma manual por los operarios se depositaron en cajas de recolección. Los sensores i-button recorrieron toda la línea de procesado junto con el producto, excepto en la fase de lavado por incompatibilidad del sensor con el agua, siendo incorporados posteriormente en el interior de la bandeja de producto acabado donde permanecieron durante el almacenamiento temporal, el transporte a punto de venta, la exposición en la góndola del supermercado y el almacenamiento en la nevera del consumidor. Adicionalmente, durante el almacenamiento temporal y el transporte, se incorporó una tarjeta TurboTag® en el lateral exterior de la caja de agrupación. La supervisión de la góndola en el supermercado se realizó mediante la localización de 12 sensores TurboTag® distribuidos en los tres niveles de altura; en cada nivel se dispusieron 3 tarjetas equidistantes en el frente de la góndola, y en el nivel inferior con doble profundidad se colocaron adicionalmente tres tarjetas en el fondo (Figura 1).

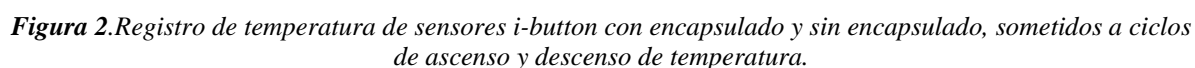


Figura 1. Invernadero de cultivo de lechuga tipo Salanova® (arriba, izquierda). Colocación de un sensor i-button en el interior de una lechuga antes de recolección (arriba, derecha), y en una bandeja de producto procesado (abajo, izquierda). Colocación de las tarjetas TurboTag en la góndola de exposición en el supermercado (abajo, derecha)

Tras la descarga y análisis de los registros de temperatura, se realizó una simulación en laboratorio en la que el producto era sometido a un historial térmico similar al seguido durante el procesado, la distribución y la venta. Se estudió la concentración de gases en el interior de los envases calculando la tasa respiratoria y se realizó un análisis sensorial (panel de 14 jueces con entrenamiento) sin degustación, contemplando los atributos de apariencia visual, color, firmeza, pardeamiento e intención de compra, en una escala de a 1 a 14. Las determinaciones se hicieron en el día 1, 4, 7 y 10 de almacenamiento, realizando 3 repeticiones. Paralelamente se almacenaron idénticas muestras a la temperatura óptima de 5 °C a modo de referencia.

Resultados y Discusión

La respuesta dinámica de los sensores i-button encapsulados no resultó significativamente distinta a la registrada por el mismo dispositivo sin recubrimiento (Figura 2). Se observa un aumento de 2-3 minutos en el tiempo necesario para pasar de 5 a 18 °C con el i-button encapsulado. La diferencia en el tiempo de respuesta no es limitante para la aplicación que se plantea.



4

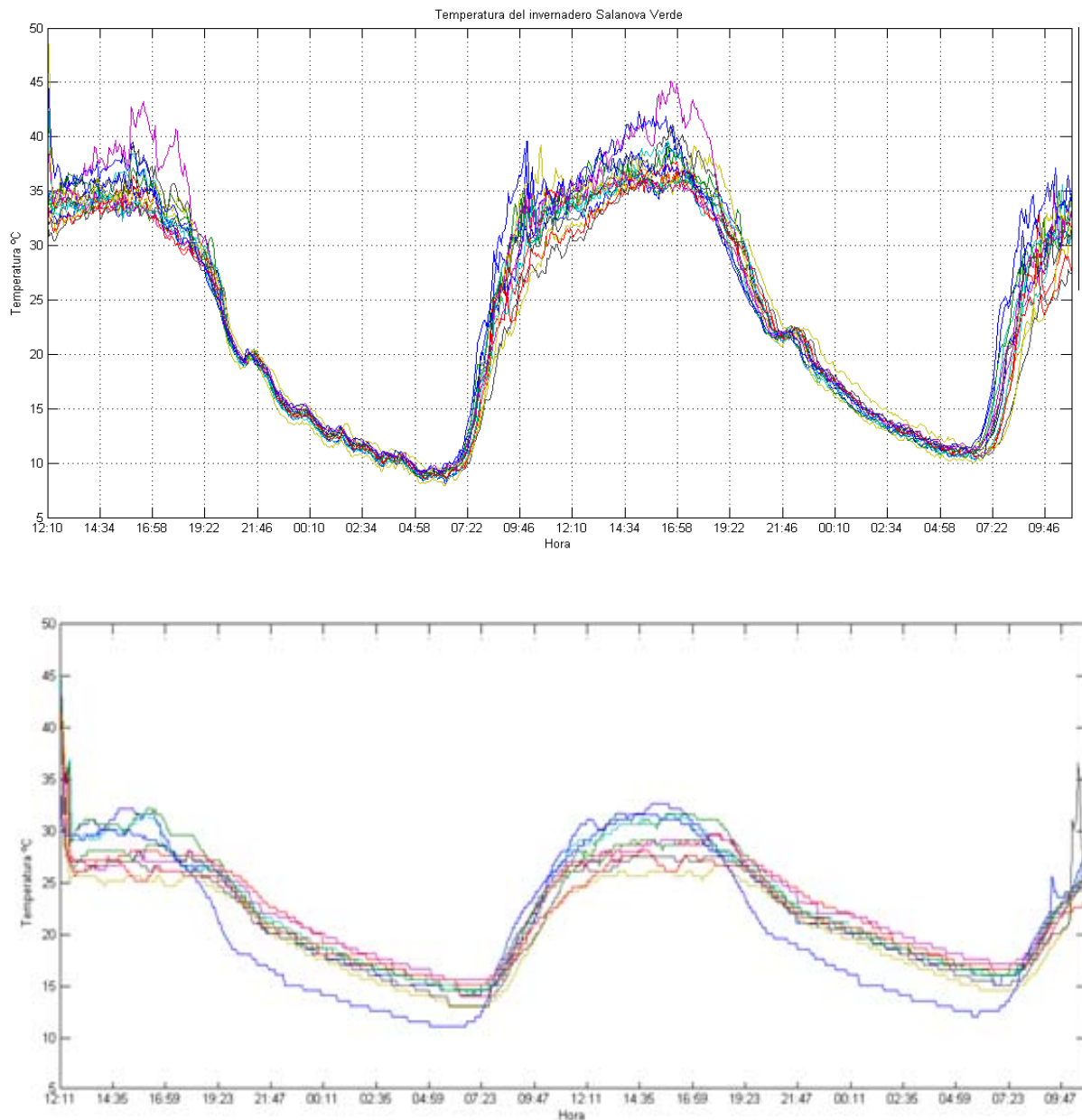


Figura 3. Historial de temperaturas en los dos días previos a la recolección: temperatura del aire en el invernadero (arriba) y del interior de las lechugas supervisadas (abajo)

En la Figura 4 se presentan los registros correspondientes a los sensores i-button que se mantuvieron activos en el interior de las lechugas (antes de proceder a su lavado y deshojado) y en el interior de las bandejas, hasta alcanzar la fase de refrigeración en la nevera del consumidor final. Se observa que durante el periodo de refrigeración en la góndola del punto de venta se producen diferencias medias entre las unidades supervisadas de hasta 6°C, lo que representa las mayores variabilidades instantáneas de temperatura registradas en los diferentes envases durante una etapa de la cadena de frío. Esto se explica claramente al analizar los resultados de las tarjetas TurboTag colocadas para supervisar las condiciones ambientales en la góndola (Figura 5). Se aprecia que el punto frío en la góndola se localiza en la parte inferior trasera con una temperatura media de 3,6 °C; en el mismo nivel la disposición frontal supone estar expuesto a un aire con prácticamente el doble de la temperatura (temperatura media de 6,1 °C). La diferencia media de temperatura entre el nivel inferior (localización frontal) y el superior es de 2,2 °C. Se observa que las máximas temperaturas se registran durante el periodo de mayor afluencia de compradores al supermercado (entre las 17:30 y las 20:00 h).

Como era de esperar, otro momento crítico se produce durante el transporte al domicilio del consumidor. Fase en la que se registra en una de las unidades una temperatura máxima de 24 °C, mientras que la unidad que se mantuvo a menor temperatura en la góndola (siempre por debajo de 5,5 °C), en el transporte alcanza sólo 14°C. Durante las últimas 40 horas la supervisión corresponde a la fase de refrigeración en nevera doméstica; se aprecian entonces los ciclos de funcionamiento del equipo de frío, con fluctuaciones medias de 3°C por ciclo, para mantener una temperatura media de 7,7 °C. Si asumimos como aceptables temperaturas de almacenamiento de la lechuga IV gama de entre 4 y 8 °C (teniendo en cuenta que la temperatura óptima recomendada es de 4 a 5 °C, y que se admiten fluctuaciones máximas de +3 °C, según AECOC, 2003), se comprueba que del total de los registros estudiados entre la entrada en cámara de refrigeración y la salida de la nevera, el 51% está por encima de 8°C, y menos de un 1% está por debajo de 4°C. El proceso de enfriamiento al que el producto es sometido en la industria no es suficiente para alcanzar la temperatura óptima de almacenamiento al partir de una temperatura inicial de más de 25 °C (con un descenso de temperatura 0,75 °C/h). Las tarjetas dispuestas en las cajas de agrupación muestran comportamientos paralelos a los representados por los sensores en el interior de las bandejas en las fases de almacenamiento y transporte.

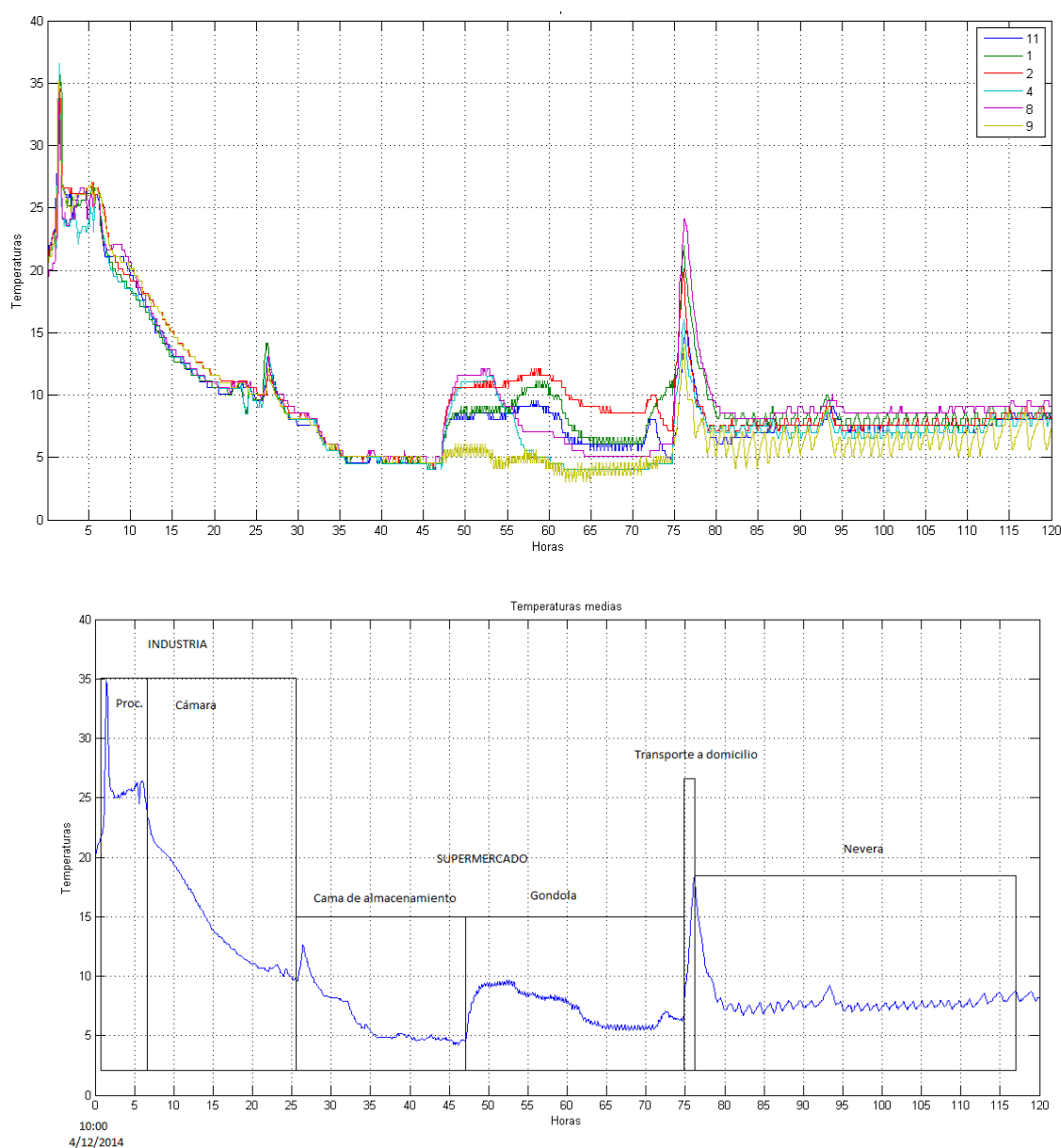


Figura 4. Historiales térmicos de 6 unidades de productos durante su vida útil (arriba), historial térmico medio (abajo)

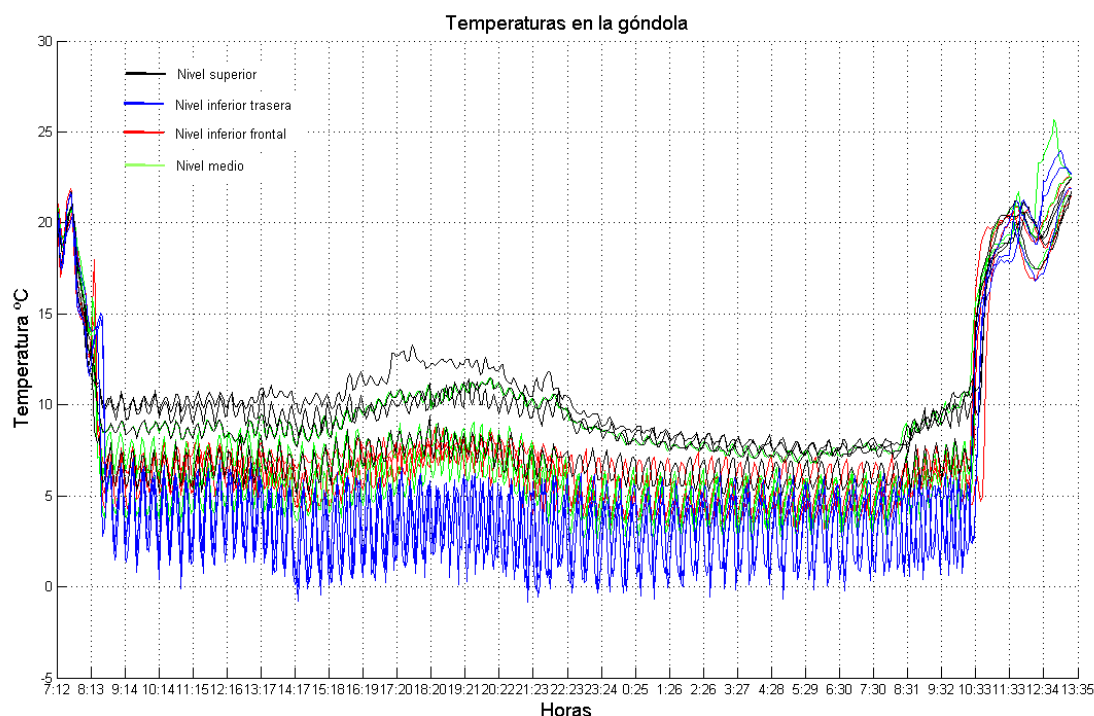


Figura 5. Historiales térmicos de 12 tarjetas TurboTag® en la supervisión de la góndola en el supermercado en el periodo comprendido entre las 8:13 h y las 10:33 h del día siguiente.

Simulación de los historiales térmicos en laboratorio y calidad del producto

El historial térmico registrado en condiciones reales se simplifica para la simulación en las cámaras de conservación. El producto se mantuvo en el envase original (bandeja plástica de 30 x 20 cm), sometido a 25 °C durante las primeras 5 horas, a 10 °C entre las 5 y las 96 horas de almacenamiento y a 7,5 °C hasta el final de su vida útil estimada en 10 días.

En cuanto a las tasas respiratorias registradas (Figura 6), cabe destacar la alta actividad que se produce como consecuencia de las temperaturas que simulan las condiciones del producto en el momento de la recolección (tiempo 0). Las mayores tasas respiratorias correspondientes al producto sometido al historial térmico simulado, con valores del doble respecto a las condiciones control al final de la vida útil (a los 10 días), comprometen la calidad del producto como se demuestra en los resultados del análisis sensorial (Figura 7).

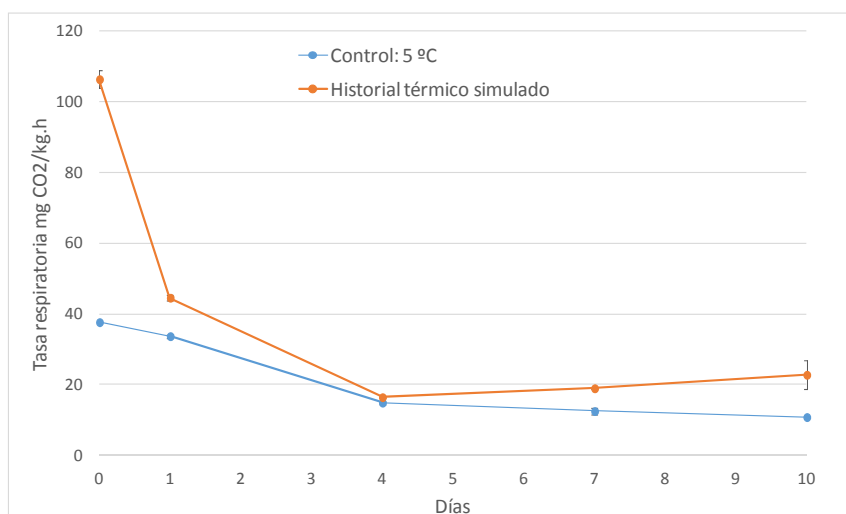


Figura 6. Tasa respiratoria a lo largo de 10 días de almacenamiento para muestras sometidas al historial térmico simulado ($n=3$) y a la temperatura óptima ($n=3$)

El análisis sensorial muestra que desde el día 4 las muestras sometidas al historial térmico simulado presentan peores calificaciones en todos los atributos evaluados. En estas muestras la intención de compra se reduce drásticamente en el día 7.

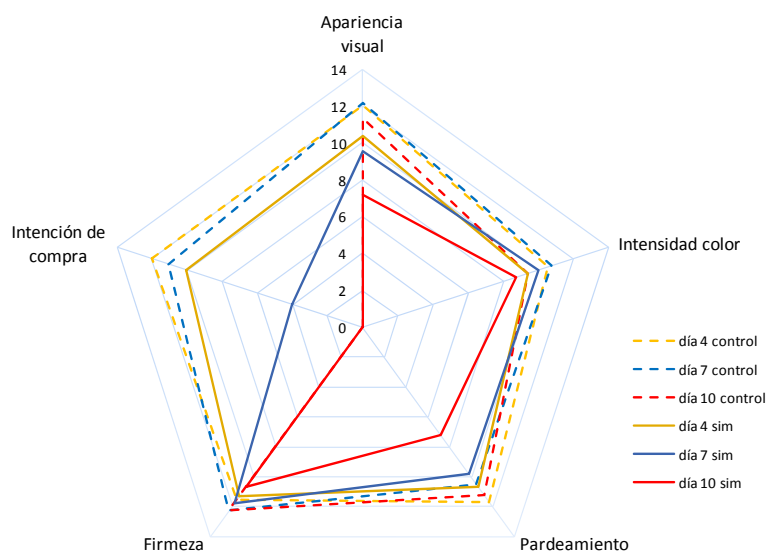


Figura 7. Evaluación sensorial a lo largo del almacenamiento de las muestras sometidas al historial térmico simulado y a la temperatura óptima

Conclusiones

En este trabajo se ha llevado a cabo la supervisión del proceso completo desde el cultivo hasta la comercialización y consumo de un producto de IV gama. Se ha verificado la viabilidad del encapsulado de los sensores para su uso en el interior de envases con ambiente a saturación.

Se ha comprobado que del total de los registros estudiados entre la entrada en cámara de refrigeración y la salida de la nevera del consumidor, el 51% está por encima de 8°C. Lo que contraviene las recomendaciones para la logística de AECOC, que establece un umbral de +3 °C durante breves periodos de tiempo.

Los puntos críticos identificados en este estudio se sitúan: en la recolección y entrada en la industria, en la que no se logra un descenso en la temperatura media del producto por debajo de 10 °C, lo que se sitúa muy por encima de las recomendaciones de almacenamiento refrigerado (entre 1 y 4 °C); en la góndola del supermercado, en la que se identifican gradientes verticales promedio de 0,5 °C por cada 10 cm de incremento de altura; y en el transporte hasta el domicilio del consumidor, con temperaturas de hasta 24 °C. Se ha comprobado la incidencia de estas fluctuaciones en la cadena de frío, evaluando la tasa respiratoria y la calidad sensorial del producto en condiciones simuladas en laboratorio. Apareciéndose a la mitad de la vida útil del producto un empeoramiento en los atributos de firmeza, pardeamiento, intensidad de color y apariencia visual en comparación con unidades de producto correctamente almacenadas.

Agradecimientos

El presente trabajo se ha desarrollado en el marco del proyecto FREE-TRANS de referencia AL-PID-38, proyecto semilla aprobado en la Convocatoria de la Universidad Politécnica de Madrid para la Realización de Actividades con Latinoamérica a lo largo de 2014, y la Red Internacional CYTED Hortyfresco (113RT0480). Los autores agradecen la colaboración a las empresas OASIS de Lampa y a supermercados UNIMARC de Santiago (Chile), así como a la Universidad Politécnica de Madrid y al Campus de Excelencia Internacional CEI-Moncloa.

Bibliografía

- AECOC, 2003. Recomendaciones AECOC para la logística. Distribución de productos refrigerados de temperatura positiva.
- Garcia, M. R., Vilas, C., Banga, J. R., and Alonso, A. A. 2007. Optimal field reconstruction of distributed process systems from partial measurements. *Ind Eng Chem* 46, 530-539.
- Jimenez-Ariza, T., Correa, E. C., Diezma, B., Silveira, A. C., Zocalo, P., Arranz, F. J., Moya-Gonzalez, A., Garrido-Izard, M., Barreiro, P., and Ruiz-Altisent, M. 2014. The Phase Space as a New Representation of the Dynamical Behaviour of Temperature and Enthalpy in a Reefer monitored with a Multidistributed Sensors Network. *Food and Bioprocess Technol* 7, 1793-1806.
- Laguerre, O., Hoang, H. M., and Flick, D. 2013. Experimental investigation and modelling in the food cold chain: Thermal and quality evolution. *Trends Food Sci Tech* 29, 87-97.
- Rodriguez-Bermejo J., Barreiro P., Robla J.I., Ruiz-Garcia L. 2007. Thermal study of a transport container. *J Food Eng* 80, 517-527.